

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 03-283476

(43)Date of publication of application : 13.12.1991

(51)Int.Cl.

H01L 41/12
G01L 3/10

(21)Application number : 02-168401

(71)Applicant : TOSHIBA CORP

(22)Date of filing : 28.06.1990

(72)Inventor : HIRAI TAKATOMO
SAHASHI MASASHI
KOBAYASHI TADAHIKO

(30)Priority

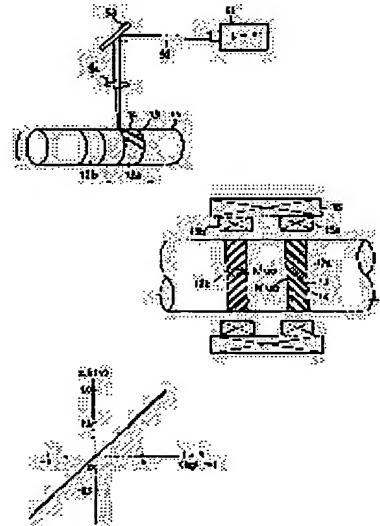
Priority number : 01169620	Priority date : 30.06.1989	Priority country : JP
01297581	17.11.1989	JP
01297732	17.11.1989	JP
01297733	17.11.1989	JP
01298941	17.11.1989	JP
02 38263	21.02.1990	JP
02 84656	30.03.1990	JP

(54) INTRODUCTION OF MAGNETIC ANISOTROPY INTO MAGNETIC SUBSTANCE

(57)Abstract:

PURPOSE: To enable anisotropy to be easily and surely introduced into a magnetic substance by a method wherein the surface of the magnetic substance is selectively and locally heated to form a boundary phase pattern which magnetically divides the main phase of the magnetic substance into two or more regions.

CONSTITUTION: When a uniaxial magnetic anisotropy (Ku1O, Ku2O) is introduced, a target of specific form is set in a RF magnetron sputtering device, and a pair of magnetic substances formed of amorphous alloy thin film is formed on two points on the surface of a shaft 11 formed of ferromagnetic material 20mm in diameter. Then, the shaft 11 is made to move in a lengthwise direction as rotated, a laser beam 52 emitted from a laser 51 is reflected by a mirror 53 and converged through a lens 54 to irradiate magnetic substances 12a and 12b provided onto the surface of the shaft 11. An amorphous boundary phase 6 whose magnetic properties are different from those of an amorphous primary phase 13 is formed on the irradiated region, and the boundary phases 14 are arranged in stripes. A laser beam irradiation direction is coincident with the direction of an easy magnetization axis, so that a uniaxial magnetic anisotropy is introduced in a direction vertical to the scanning direction of a laser beam. A torque sensor formed as above has a torque detection characteristic excellent in linearity. Furthermore, a magnetic field and a stress are applied while a magnetic substance is locally heated, or a magnetic substance is locally heated in an atmosphere in which compound is induced in the magnetic substance, or these methods are combined to be employed, whereby a complicated magnetic anisotropy can be easily introduced.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

BEST AVAILABLE COPY

Copyright (C) 1998,2003 Japan Patent Office

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 特許公報 (B2)

(11)特許番号

第2965628号

(45)発行日 平成11年(1999)10月18日

(24)登録日 平成11年(1999)8月13日

(51)Int.Cl.⁶
H 01 L 41/12
G 01 L 3/10

識別記号

F I
H 01 L 41/12
G 01 L 3/10

A

請求項の数 6 (全 24 頁)

(21)出願番号 特願平2-168401
(22)出願日 平成2年(1990)6月28日
(65)公開番号 JP 03-283476 A
特開平3-283476
(43)公開日 平成3年(1991)12月13日
審査請求日 平成9年(1997)4月14日
(31)優先権主張番号 特願平1-169620
(32)優先日 平1(1989)6月30日
(33)優先権主張国 日本 (JP)
(31)優先権主張番号 特願平1-297581
(32)優先日 平1(1989)11月17日
(33)優先権主張国 日本 (JP)
(31)優先権主張番号 特願平1-297732
(32)優先日 平1(1989)11月17日
(33)優先権主張国 日本 (JP)

(73)特許権者 99999999
株式会社東芝
神奈川県川崎市幸区堀川町72番地
(72)発明者 平井 隆大
神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地
株式会社東芝総合研究所内
(72)発明者 佐橋 政司
神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地
株式会社東芝総合研究所内
(72)発明者 小林 忠彦
神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地
株式会社東芝総合研究所内
(74)代理人 弁理士 鈴江 武彦 (外3名)
審査官 大日方 和幸

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 磁性体を構成要素とするセンサの製造方法

1

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】磁性体を構成要素とするセンサを製造するにあたり、前記磁性体の表面を選択的に局所加熱し、前記磁性体の主相を磁気的に複数の領域に分割する境界相のパターンを形成し、前記分割された主相領域に磁気異方性を生じさせることを特徴とする磁性体を構成要素とするセンサの製造方法。

【請求項2】磁性体に磁場を印加することを特徴とする請求項(1)記載の磁性体を構成要素とするセンサの製造方法。

【請求項3】磁性体に応力を印加することを特徴とする請求項(1)記載の磁性体を構成要素とするセンサの製造方法。

【請求項4】磁性体を、その酸化物相、窒化物相または還元相が生成される雰囲気中で局所加熱することを特徴

2

とする請求項(1)記載の磁性体を構成要素とするセンサの製造方法。

【請求項5】前記分割された主相領域に、前記境界相の方向と平行な方向または垂直な方向に磁気異方性を生じさせることを特徴とする請求項(1)記載の磁性体を構成要素とするセンサの製造方法。

【請求項6】前記磁性体の表面を選択的に局所加熱することにより、前記磁性体の主相を磁気的に複数の領域に分割する境界相のパターンを形成するとともに前記分割された主相領域に磁気異方性を生じさせることを特徴とする請求項(1)記載の磁性体を構成要素とするセンサの製造方法。

【発明の詳細な説明】

【発明の目的】

(産業上の利用分野)

本発明は磁性体に磁気異方性を導入する方法に関する。具体的には、各種センサなどの構成要素として用いられる磁性体に磁気異方性を導入する方法に関する。

(従来の技術)

近年、磁気異方性が導入された磁性体を構成要素とする各種センサ（例えばトルクセンサ、歪みセンサ、電流センサ）が開発されている。これらのセンサでは、測定すべき外部エネルギー（例えば軸に加えられるトルク、平板に加えられる歪み、導体を流れる電流）の変化を、磁気異方性が導入された磁性体の磁化容易軸の方向における磁気特性（例えば透磁率）の変化に変換し、この磁気特性の変化を検出することにより、各種外部エネルギーの大きさを検出している。

これらのセンサを構成する磁性体には、予め一軸磁気異方性を導入しておく必要がある。従来、磁性体に一軸磁気異方性を導入するには、以下のような方法が用いられているが、これらの方法にはいずれも問題がある。ここではトルクセンサを構成する軸の表面の磁性体に一軸磁気異方性を導入する場合について説明するが、他のセンサを構成する磁性体に一軸磁気異方性を導入する場合にも、同様な方法が用いられる。

①軸の径に合わせて非晶質磁性合金からなる環状の磁性体を作製し、熱処理して内部応力を除去した後、軸にねじりを与えた状態でこれを接着し、軸のねじりを戻す方法。しかし、この方法では、予め軸の径に合わせて環状の磁性体を作製する必要がある、軸にねじりを与える必要がある、など工程の煩雑化を招くという問題がある。

②磁性体に、磁界中熱処理・冷却を施すことにより、一軸磁気異方性を導入する方法。しかし、この方法では、非常に手間がかかり量産性に欠ける上、長尺の磁性体は、熱処理をすることが困難であるため、磁性体の寸法及び形状が制限される。また、非晶質合金薄帯では、その全体が熱処理を受けると、脆くなるという問題がある。

③熱間静水圧圧縮法（HIP）により、軸に非晶質合金を接合し、結晶化した後、この合金の一部にレーザーパルスを照射して繊状に非晶質化する方法（特開昭63-280476号公報）。この方法では、磁性体は結晶質相と非晶質相とが交互に繊状に配列された構造となるため、磁気異方性を導入することができる。また、この方法では、磁性体の接合耐久性が良好となる。しかし、この方法では、必ずしも充分な磁気異方性を導入することができないという問題がある。

(発明が解決しようとする課題)

以上のように、磁気異方性が導入された磁性体を構成要素とする各種センサなどの実用化にあたっては、磁性体への磁気異方性の導入に対する対策が非常に重要である。

本発明の目的は、磁性体に充分な磁気異方性を容易かつ確実に導入することができる方法を提供することにある。

る。

[発明の構成]

(課題を解決するための手段)

本発明の磁性体を構成要素とするセンサの製造方法は、磁性体を構成要素とするセンサを製造するにあたり、前記磁性体の表面を選択的に局所加熱し、前記磁性体の主相を磁気的に複数の領域に分割する境界相のパターンを形成し、前記分割された主相領域に磁気異方性を生じさせることを特徴とする。

以下、本発明に更に詳細に説明する。

本発明において、磁気異方性が導入される磁性体は、例えば各種センサの構成要素として用いられる。例えば、トルクセンサの場合、軸自体が磁性体でもよいし、トルクセンサの軸の表面に、磁性体の薄帯を接着したり、磁性体の薄膜を形成してもよい。軸の表面に磁性体の薄膜を形成する方法としては、①スパッタ法などの気相成長法、めっき法、溶射法、溶接法による方法；②軸の表面に磁性体粉末を供給しながら、レーザービームを照射する方法；③熱間静水圧圧縮法（HIP）による方法；が挙げられる。磁性体は、非晶質又は結晶質合金、酸化物磁性体などの化合物磁性体のいずれでもよい。前記の方法において、軟磁気特性を示す磁性体が得られるように、製造に関するパラメータ（例えばスパッタ法におけるAr圧など）を最適に選択することが好ましい。また、結晶質磁性体を形成した後には、歪み取り熱処理を施すことが好ましい。

非晶質合金の組成は特に限定されるものではない。磁歪の大きい非晶質合金としては、式（I）で表される組成を有するものが望ましい。



（ただし、M:Co又はNiの少なくとも1種、M':Ti、Zr、Hf、V、Nb、Ta、Cr、Mo、W、Mn、Re、Ru、Rh、Ir、Pb、Pt、Ag、Au、Cu、Zn、Al、Ga、In、Ge、Sn、Pd、Sb、Bi、Y、希土類金属のうちから選択される少なくとも1種、

M=Niの場合、 $0.1 \leq a \leq 0.4$ 、

M=Coの場合、 $0.2 \leq a \leq 0.99$ 、

$0 \leq b \leq 0.15$ 、 $0 \leq x \leq 20$ 、 $4 \leq y \leq 35$ 、 $x+y+z=100$ ）

このようなFe系の非晶質合金に対しては、従来の磁界中熱処理では、誘導磁気異方性の導入が困難であった。一方、本発明の方法では、式（I）で表わされる広い組成範囲のFe系の非晶質合金にも充分な磁気異方性を導入できる。特に、スパッタ法などの方法で非晶質磁性体を形成する場合には、組成範囲を広くとることができる。ただし、急冷ロール法によって薄帯状の非晶質磁性体を製造する場合には、非晶質形成能によって制限されるため、若干組成範囲が限定される。

式（I）において、Mは大きな誘導磁気異方性K_{u0}を得るための必須成分であり、Co又はNiの少なくとも1種

が用いられる。従来の磁界中熱処理では、Mの含有量がある範囲を逸脱すると、大きな誘導磁気異方性が得られない。一方、本発明の方法では、前記のように広い範囲でMを含有することができる。

式(I)において、Bは合金の非晶質化のために必須の元素である。Bの含有量を示すYは、4以上であることが必要である。Siは結晶化温度を上昇させる作用を有する元素である。Siの含量を示すXが20を超えると、飽和磁化が小さくなり、良好な磁気特性を得ることが困難になる。なお、BとSiとの合計量が多すぎると磁気特性を損なうので、X+Yは35を超えないことが好ましい。

式(I)において、M'は非晶質磁性体の結晶化温度を高くし、熱安定性を向上させ、熱膨張係数の大きさを調整し、耐食性を改善する作用を有する元素である。

M'としては、前述した各種元素のうちから選択される少なくとも1種が用いられる。

式(I)で表わされる金属-半金属系の非晶質合金のほかにも、式(II)で表わされる金属-金属系の非晶質合金を用いることもできる。



(ただし、M''はNb、Ti、Hf、Zr、Yから選択される少なくとも1種、

MはFe、Co、Ni、V、Ta、Cr、Mo、W、Mn、Re、Rh、Ir、Pb、Pt、Ag、Au、Cu、Zn、Al、Ga、In、Ge、Sn、Pb、Bi、希土類金属のうちから選択される少なくとも1種、

$$2 \leq \alpha \leq 25, \quad 0 \leq \beta \leq 30$$

式(II)で表わされる非晶質合金ではCoが必須の元素である。Coの一部と置換されるM''は非晶質金属化に必須の元素である。 α が2未満では非晶質金属が得られない。 α が25を超えると非晶質金属が得られなくなるうえ、飽和磁化(Ms)が大幅に低下してセンサの用途には不適当である。

式(II)において、MはM''による非晶質金属化の作用を促進し、かつセンサとして必要な磁歪値の制御を容易にする作用を有する元素である。ただし、Mを含まないCo-M''系の非晶質合金でもよい。 β が30を超えるとセンサとして必要な磁歪値が得られなくなるうえ、非晶質化が困難になる。

結晶質磁性体としては、パーマロイなどが挙げられる。酸化物磁性体としてはフェライトなどが挙げられる。

本発明の方法をトルクセンサの製造に応用する場合：軸に磁性体薄帯を接着したり磁性体薄膜を形成した後、これらに磁気異方性を導入してもよいし；薄帯状の磁性体予め磁気異方性を導入した後、これを軸に接着してもよい。

本発明において、磁性体に磁気異方性を導入するためには、その表面を局所加熱する手段は、加熱可能なエネルギーービームであれば特に限定されない。例えば、YAGレ

ーザやCO₂レーザなどのレーザビーム、イオンビーム、電子線ビーム、赤外線ビームなどが挙げられる。エネルギーービームが照射された領域では、磁性体を構成する主相の構造が変化し、主相とは磁気特性の異なる境界相が形成される。例えば非晶質の主相が構造緩和されて、主相とは磁気特性の異なる非晶質又は結晶質の境界相が形成される。また、部分的なアニール又は溶融に起因して内部応力が残留し、主相に応力誘起磁気異方性が導入されることも考えられる。磁性体を構成する主相及び境界相の組み合わせは：主相-非晶質相、境界相-非晶質相；主相-非晶質相、境界相-結晶質相；主相-結晶質相、境界相-結晶質相；のいずれでもよい。主相と境界相との磁気特性、例えば保磁力の違いは、5%以上であることが好ましい。

磁性体にエネルギーービームを照射する際には、エネルギーービームのスポットを連続的に走査してもよいし、非連続的に走査してもよい。それに応じて、境界相の形状は、線状又は点状になる。また、エネルギーービームのスポットは、所定の方向に沿って、間隔(ピッチ)を隔てて走査する。操作の容易さ、及び充分な磁気異方性を導入できることを考慮すると、線状の境界相のストライプパターンを形成することが好ましい。

このような操作により、例えば磁性体の主相の磁区制御がなされ、所定方向に沿って一軸磁気異方性を導入することができる。このように主相の磁気特性を制御するためには、磁性体中で境界相を占める面積の割合は50%未満、更に30%以下であることが好ましい。なお、磁性体に導入される一軸磁気異方性の方向は、エネルギーービームのスポット径(境界相の幅)、走査ピッチ(隣接する境界相間の間隔)などに応じて、エネルギーービームの走査方向の場合もあれば、それに対する垂直方向の場合もあるなど、種々変更ができる。また、一軸磁気異方性を生じさせる方向は、例えばセンサとして使用する場合の主応力方向が好ましいが、特に限定されない。また、例えばエネルギーービームの走査速度によっても、境界相の構造が変化し、それに伴って境界相の磁気特性も変化する。したがって、スポット径に応じて走査ピッチを変更させるなど、エネルギーービームの照射条件を適当に設定することが好ましい。具体的には、エネルギーービームのスポット径(境界相の幅)は1μm～1mmであることが好ましく、エネルギーービームの走査ピッチ(隣接する境界相間の間隔)は50μm～10mmであることが好ましい。更に、境界相の幅は100μm以下、隣接する境界相間の間隔は200μm以上であることが好ましい。ただし、間隔があきすぎると、境界相による分割効果が表われにくくなるので、2mm以下であることが好ましい。

前述した特開昭63-280476号公報に開示された方法では、レーザビームが照射された領域(非晶質相)によって磁性体の磁気特性が支配され、レーザビームの走査方向に磁気異方性が付与される。これに対して、本発明の

方法では、磁性体を局所加熱して境界相のパターンを形成すると、未加熱部分である主相が磁性体の磁気特性を支配し、条件によっては走査方向及びその垂直方向のいずれにも磁気異方性が導入できる。そのメカニズムとしては、前述したように磁区再配列、応力誘起磁気異方性などが考えられる。このように、両者の方法では、磁気異方性が導入されるメカニズムが異なっている。また、本発明の方法では連続的な処理ができるため、従来の磁界中熱処理のように処理装置の大きさによって磁性体の寸法が制限されることもない。

本発明においては、磁性体にエネルギー一ビームを照射する際に；磁性体に磁場を印加する；磁性体に応力を印加する；磁性体に磁場及び応力を印加するという方法を組み合わせてもよい。応力の大きさは、磁性体の破壊強度にもよるが、 $0.1 \sim 150 \text{ kg/mm}^2$ の範囲が好ましい。これらの方法を併用すれば、エネルギー一ビームの照射による誘導磁気異方性、磁場による誘導磁気異方性、応力による応力誘起磁気異方性を組み合わせることができ、複雑な磁気異方性でも容易に導入することができる。

また、本発明においては、磁性体の化合物が生成する雰囲気中で、磁性体にエネルギー一ビームを照射してもよい。その雰囲気としては、酸化性雰囲気、窒素雰囲気が挙げられる。また、酸化物磁性体に対しては、還元性雰囲気を用いることもできる。酸化性雰囲気は、大気でもよいが、酸化の目的から O_2 が50%以上であることが好ましい。窒素雰囲気は、大気でもよいが、窒化の目的から、 N_2 が90%以上であることが好ましく、また高圧をかけることが好ましい。ただし、工程を単純化するために、特に高圧を加えなくても支障はない。還元性雰囲気としては、水素雰囲気などが挙げられる。

酸化性雰囲気を用いた場合には、エネルギー一ビームが照射された領域では、高温酸化が進み、主相から組成及び構造が変化し、主相とは磁気特性の異なる、酸化物相を含む境界相が形成される。

窒素雰囲気を用いた場合には、エネルギー一ビームが照射された領域では、高温で窒化が急速に進行し、主相から組成及び構造が変化し、主相とは磁気特性の異なる、窒化物相を含む境界相が形成される。

酸化物磁性体に対して還元性雰囲気を用いた場合には、エネルギー一ビームが照射された領域では、酸化物の還元が進み、主相から組成及び構造が変化し、主相とは磁気特性の異なる、還元相を含む境界相が形成される。

以上のようにして一軸磁気異方性が導入された磁性体は、トルクセンサ、歪みセンサ、電流センサなどのセンサや、磁気コアなどに応用される。

例えば、トルクセンサの原理について、第3図を参照して説明する。第3図において、軸11の表面には磁性体12が固定されている。この磁性体12には、予め軸11の周方向に対して角度 θ ($\neq 0$) の方向を磁化容易軸とする一軸磁気異方性 K_{u0} が付与されている。また、この磁性

体12に近接して、例えば励磁コイル及び検出コイルが配置され、この検出コイルは検出回路に接続されている（図示せず）。

このような構成のトルクセンサを用い、以下のようにしてトルクを検出することができる。ここで、説明を簡単にするために、 $\theta = 45^\circ$ 、飽和磁歪定数 $\lambda_s > 0$ とする。いま、軸11に破線矢印で示すトルク T が加わると、軸11に発生した表面歪み応力 σ が磁性体12に伝達され、磁性体12には軸11の周方向に対して $+45^\circ$ の方向に張力 σ が、 -45° の方向に圧縮応力 $-\sigma$ がそれぞれ発生する。これに伴って、磁性体12には磁気歪み効果によって、 $+45^\circ$ の方向に応力誘起磁気異方性 K_{us} ($K_{us} = 3 \lambda_s \cdot \sigma$) が誘導される。この結果、 K_{u0} と K_{us} が合成されて一軸磁気異方性は K_{ux} に変化する。この場合、磁性体12の内部を通過する磁束の向きが一定であれば、一軸磁気異方性が変化することにより、磁性体12における磁束貫通方向の透磁率が変化する。したがって、この透磁率変化を、検出コイル及びこれに接続された検出回路により測定することができ、その値から軸11に加えられたトルク T を求めることができる。

このようなトルクセンサにより、正転時及び逆転時のトルクを直接性よく検出するためには、軸11の周方向に対してそれぞれ $+ \theta$ 及び $- \theta$ (0° 、 90° 、 180° 、 270° を除く) の方向に予め一軸磁気異方性 K_{u0} を付与した1対の磁性体と、これらの磁性体の磁気特性変化を検出するための差動結合された1対の検出コイル又は検出ヘッドを用いてトルクセンサを構成する必要がある。

同様に、他のセンサでも、目的とする外部エネルギーを検出するためには、磁性体の磁気異方性が利用される。

（実施例）

以下、本発明を実施例に基づいて詳細に説明する。以下の実施例では、主に、トルクセンサに使用される磁性体に磁気異方性を導入する場合について説明する。

実施例1

軸の表面に形成された磁性体を局所加熱して磁気異方性を導入する方法について説明する。

RFマグネットロンスパッタ装置に、特殊形状のターゲットをセットし、強磁性体（S45C）からなる直径20mmの軸の表面の2個所に、

$(\text{Fe}_{0.2} \text{Co}_{0.8})_{78} \text{Si}_{18} \text{B}_{14}$

なる組成を有する、幅10mm、厚さ $15 \mu \text{m}$ の非晶質合金薄膜からなる1対の磁性体を形成する。

第1図の装置を用いて、これらの磁性体に磁気異方性を導入する。軸11を回転させかつ長さ方向へ移動させながら、レーザ51から放射されるレーザビーム52を、ミラー53で反射させ、レンズ54で集束させて軸11の表面の磁性体12a、12bに照射する。この場合、レーザビームのスポット径を $100 \mu \text{m}$ とし、 3 m/min の走査速度で連続的に照射する。レーザビームの走査方向は、軸11の周方向に対して、磁性体12aでは $+45^\circ$ 、磁性体12bでは -45° の

方向とし、前述した操作を1mmピッチで繰返す。この結果、レーザビームが照射された領域では構造緩和が起り、非晶質の主相13とは異なる磁気特性を有する、非晶質の境界相16が形成され、これらの境界相14がストライプ状に配列された構造となる。

このように、磁気特性の異なる2種の非晶質相、すなわち主相13及び境界相14を有する磁性体の表面の磁区のモデルを第2図に示す。第2図に示されるように、磁区のパターンははしご状又はステップラダー状であり、レーザビーム照射方向に対応して磁区制御がなされている。そして、レーザビーム照射方向が磁化容易軸方向となり、軸11の周方向に対して、磁性体12aでは+45°の方向に一軸磁気異方性▲K¹ ▼が、磁性体12bでは-45°の方向に一軸磁気異方性▲K² ▼が導入される。

なお、磁性体に磁気異方性が導入される方向は、レーザビームのスポット径、走査速度、照射ピッチなどによって異なる。例えばYAGレーザを用い、スポット径50μmのレーザビームを10m/minで走査させる操作を0.5mmピッチで繰り返して施すと、レーザビームの走査方向と直交する方向に磁気異方性が導入される。すなわち、磁性体12aでは-45°の方向に、磁性体12bでは+45°の方向に一軸磁気異方性が導入される。

この例において作製されたトルクセンサの構成を、第4図に示す。磁気異方性が導入された1対の磁性体12a、12bが形成された軸11の外周に、磁性体12a、12bに非接触の状態で、円筒状の検出コイル15a、15bが設けられている。また、検出コイル15a、15bの外周には円筒状の励磁コイル16が設けられている。これら検出コイル15a、15b及び励磁コイル16は、非磁性体からなる巻枠に0.3mm径の銅線を、検出コイル15a、15bの場合100回、励磁コイル16の場合300回巻回したものである。

第5図は、このトルクセンサの回路構成を示すブロック図である。発振器21にて100kHzの正弦波励磁電流を発生させ、增幅器22にて増幅し、励磁コイル16に印加すると、磁性体12a、12bには交番磁界が加わる。軸11にトルクが加わると、前述した原理に従って、磁束貫通方向に沿う磁性体12a、12bの透磁率が変化する。この変化に対応して、検出コイル15a、15bにより信号が検出される。これらの信号は、差動増幅器23、24、25により増幅され、同期検波器26にて整流される。このようにして、トルク変化に応じて変化する直流の電圧出力が得られる。

このトルクセンサにより、トルクを検出した結果を第6図に示す。第6図から明らかなように、このトルクセンサの出力は、広いトルク範囲にわたって良好な直線性を示す。

第7図に、境界相のパターンを形成する際のレーザビーム走査速度と、センサ感度との関係を示す。第7図から明らかなように、良好なセンサ感度を得るために、最

適なレーザビーム走査速度が存在する。

このことは、レーザビーム走査速度に応じて、境界相の非晶質構造が変化し、それに伴って磁性体の磁気特性が変化することによると考えられる。通常のX線回折により、40kV、20mA、Cu線源という条件で磁性体の結晶構造を調べた結果、以下のことが判明している。第7図の左端の場合にはレーザビームが照射された境界相領域は結晶化している。一方、最適なレーザビーム走査速度を含む、その他の走査速度の範囲においては、境界相は結晶化されず、磁性体全体が非晶質であることが認められる。つまり、レーザビーム走査速度が小さい場合、局所加熱の影響が大きく、レーザビーム照射領域は結晶化される。一方、良好な感度が得られる、最適な走査速度範囲の場合、走査速度が大きいため、局所加熱されてもその領域は構造緩和される程度で、結晶質相は生成しない。しかし、主相と、レーザビーム照射により構造緩和された境界相とは、両者とも非晶質であるが、互いに磁気特性が異なっている。

ただし、レーザビーム走査速度を第7図に示す広い範囲で変化させても、直線性の良いトルク検出特性が得られる。例えば、YAGレーザを用い、スポット径100μmのレーザビームを1m/minで走査させる操作を1mmピッチで繰り返して施す（第7図の左端の条件）。この場合、前述したように、レーザビームが照射された領域は結晶化し、非晶質の主相とは異なる磁気特性を有する、結晶質の境界相が形成され、これらの境界相がストライプ状に配列された構造となる。このように、主相が非晶質、境界相が結晶質の場合でも、直線性の良いトルク検出特性が得られる。

なお、レーザビーム走査速度は、レーザビームのパワー、照射領域の熱容量及び熱伝導性などに大きく依存するので、これらの条件に応じて、良好なセンサ感度が得られるような最適のレーザビーム走査速度を決定することが好ましい。また、レーザビームを照射するピッチは50μm～10mmであることが好ましい。ピッチが50μm未満では第2図に示したような磁区パターンを得ることができない。ピッチが10mmを超えると充分な磁気異方性を導入することができない。このため、いずれの場合も、良好なトルクセンサが得られない。境界相領域の幅は1μm～0.2mmであることが好ましい。また、境界相領域は必ずしも線状である必要はなく、磁気異方性が生じさえすれば、点状でもよい。

更に、式（1）で表わされる各種組成の非晶質合金に、前記と同様にしてレーザビームを照射することにより、非晶質の境界相をストライプ状に形成して磁気異方性を導入する。そして、第4図と同様なトルクセンサを作製する。これらのトルクセンサの感度を測定した結果を第1表に示す。

第 1 表

No	組 成	センサ感度 (mV/kgf-m)
1	(Fe _{0.75} Ni _{0.25}) ₇₅ Si ₉ B ₁₇	500
2	(Fe _{0.8} Co _{0.2}) ₇₈ Si ₁₀ B ₁₂	850
3	Co ₆₀ Fe ₂₀ B ₂₀	350
4	(Fe _{0.1} Co _{0.9}) ₇₈ Si ₁₀ B ₁₂	500
5	(Fe _{0.5} Co _{0.5}) ₈₁ Si ₁₀ B ₉	900
6	(Fe _{0.3} Ni _{0.2} Co _{0.5}) ₇₈ Si ₁₁ B ₁₁	400
7	(Fe _{0.65} Ni _{0.3} Cr _{0.05}) ₈₀ Si ₁₀ B ₁₀	500
8	(Fe _{0.35} Co _{0.6} Nb _{0.05}) ₈₀ Si ₁₀ B ₁₀	450
9	Fe ₄ Co ₇₀ Mn ₄ B ₂₆	500
10	(Fe _{0.2} Co _{0.8}) ₇₈ Si ₈ B ₁₄	700
11	Fe ₇₇ Si ₈ B ₁₅	750

また、Co₈₀Zr₁₅Fe₅なる組成を有する非晶質合金に、走査速度を6m/minとした以外は、前記と同様にしてレーザビームを照射することにより、非晶質の境界相をストライプ状に形成して磁気異方性を導入する。そして、第4図と同様なトルクセンサを作製する。このトルクセンサにより、トルクを検出した結果を第8図に示す。このトルクセンサについて、レーザビーム走査速度と、感度との関係を第9図に示す。これらの結果から、前記と同

様に優れたトルクセンサが得られることがわかる。更に、式 (II) で表わされる各種組成の非晶質合金に、前記と同様にしてレーザビームを照射することにより、非晶質の境界相をストライプ状に形成して磁気異方性を導入する。そして、第4図と同様なトルクセンサを作製する。これらのトルクセンサの感度を測定した結果を第2表に示す。

第 2 表

No	組成	センサ感度 (mV/kgf-mm)
12	Co ₈₅ Zr ₁₀ Fe ₅	760
13	Co ₉₈ Zr ₂	880
14	Co ₇₀ Hf ₅ Zr ₁₀ Fe ₁₀ Mo ₅	500
15	Co _{76.5} Mn _{8.5} Nb ₁₅	650
16	Co ₈₇ Cr ₃ Zr ₁₀	420
17	Co ₈₅ Al ₅ Zr ₁₀	350
18	Co ₆₅ Ti ₅ Mo ₃₀	240

以上の例では、磁性体の主相が非晶質、境界相が非晶質又は結晶質の場合について説明した。しかし、磁性体の主相が結晶質、境界相が結晶質でもよい。以下、このような例について説明する。めっきにより、強磁性体(S45C)からなる直径20mmの軸の表面の2個所に、Fe₅₀Ni₅₀なる組成を有する、幅10mm、厚さ15μmの結晶質合金(いわゆるパーマロイ)の薄膜からなる1対の磁性体を形成する。前記と同様に、YAGレーザーを用い、スポット径100μmのレーザビームを1m/minで走査させる操作を1mmピッチで繰り返して施す。この結果、結晶質の主相13とは異なる磁気特性を有する、結晶質の境界相14が形成され、これらの境界相14がストライプ状に配列された構造となる。主相は安定状態の結晶質相であり、境界相は準安定状態の結晶質相である。そして、レーザビーム照射方向が磁化容易軸方向となり、軸11の周方向に対して、磁性体12aでは+45°の方向に一軸磁気異方性▲K¹ ▽が、磁性体12bでは-45°の方向に一軸磁気異方性▲K² ▽が導入される。

第4図と同様なトルクセンサを作製し、トルクを検出した結果を第10図に示す。第10図から明らかなように、このトルクセンサの出力は、広いトルク範囲にわたって良好な直線性を示す。磁性体中の結晶質の境界相の割合と、センサ感度との関係を調べた結果を第11図に示す。第11図に示されるように、結晶質の境界相の割合が0又は1付近では感度が悪く、良好な感度を得るために最適な割合が存在する。磁性体中の結晶質の境界相の割合は、レーザビームの走査ピッチなどを変化させることにより、変化させることができる。

また、結晶質の磁性体からなる軸自体に、レーザビーム

を照射することにより、結晶質の境界相を形成してもよい。以下、このような例について説明する。前記と同様に、強磁性体(S45C)からなる直径20mmの軸11の表面に、YAGレーザーを用い、スポット径100μmのレーザビームを1m/minで走査させる操作を1mmピッチで繰り返して施す。この結果、軸11自体を構成する結晶質の主相13とは異なる磁気特性を有する、結晶質の境界相14が形成され、これらの境界相14がストライプ状に配列された構造となる。主相は安定状態の結晶質相であり、境界相は準安定状態の結晶質相である。そして、第12図に示すように、レーザビーム照射方向が磁化容易軸方向となり、軸11の周方向に対して、12aの領域では+45°の方向に一軸磁気異方性▲K¹ ▽が、12bの領域では-45°の方向に一軸磁気異方性▲K² ▽が導入される。

第12図に示すトルクセンサを作製し、トルクを検出した結果を第13図に示す。第13図から明らかなように、このトルクセンサの出力はそれほど大きくないが、広いトルク範囲にわたって良好な直線性を示す。

実施例2

薄帯状の磁性体を局所加熱して磁気異方性を導入する方法について説明する。急冷ロール法により、

(Fe_{0.8}Co_{0.2})₇₈Si₈Bi₄

なる組成を有する磁歪定数10⁻⁵程度の非晶質合金薄帯を作製する。

この磁性体に、第14図に示す装置を用い、磁気異方性を導入する。第14図において、テーブル101上にはガイドベース102が載せられている。薄帯状の磁性体12は、供給ロールから巻取ロール(いずれも図せず)により巻き取られ、ガイドベース102上を移動する。テーブル101

上には支柱103が取り付けられ、この支柱103にポールネジ104が回転自在に取り付けられ、ガイドレール105が固定されている。ポールネジ104には光学系106が連結され、この光学系106はガイドレール105に沿って移動する。光学系106の内部にはミラー107及びレンズ108が設けられている。磁性体12の移動はセンサ109を介して移動検出器110によって検出される。光学系106の移動は、ポールネジ104を回転させるサーボモータ111をサーボモータコントローラ112で制御することにより制御される。YAGレーザ113から放射されるレーザビーム114は、ミラー107で反射され、レンズ108で集束されて磁性体12に照射される。この際、磁性体12の酸化劣化を防止するために、光学系106内にはガス供給系115からArガスが導入される。以上の各部材は操作盤117での設定に従い、コントローラ116により制御される。なお、図中の55は後述する実施例4で用いられる電磁石であるが、この例では使用されない。

この場合、磁性体12上でレーザビームのスポット径を100μmとし、3m/minの走査速度で連続的に走査する操作を、所定方向に沿って1mmピッチで繰り返す。この結果、主相とは異なる磁気特性を有する、非晶質の境界相が形成され、これらの境界相がストライプ状に配列された構造となる。

第15図は、得られた磁性体に、レーザビームの走査方向（境界相が延びる方向）に対して直交する方向に磁界を印加した後、磁界を0近傍に戻し、磁力一効果を用いた磁区観察装置で観察される磁区構造を示す写真である。第15図に示されるように、第2図のモデルと同様な磁区パターンが形成されている。

このようにして磁気異方性が導入された薄帯状の磁性体を、軸に接着することにより、第4図と同様なトルクセンサを作製することができる。

実施例3

薄帯状の磁性体を局所加熱して、磁気異方性を導入する、他の方法について説明する。

第16図に示すように、図示しない供給ロールと巻取ロールとの間に、薄帯状の磁性体12を移動可能に支持する。電源121に接続された赤外ランプ122から直接放射される赤外線及び集光ミラー123で反射される赤外線124を、スリット板125に設けられたスリット126を通して磁性体12に照射する。

この場合、磁性体12を移動させながら、赤外ランプ122のオン-オフを繰り返すことにより、ストライプ状に配列された境界相を形成することができる。

また、第17図に示すように、スリット板125の一方の面に、スリット128を有するシャッター127を移動可能に支持する。赤外線124はスリット板125のスリット126と、シャッター127のスリット128とが重なった部分を通して、磁性体12にスポット状に照射される。赤外線124のスポットは、磁性体12の移動と、シャッター127の移

動に応じて走査される。

実施例4

磁性体を磁場中で局所加熱して磁気異方性を導入する方法について説明する。この方法は、基本的には実施例1～3で用いたのと同様な装置を用いて行われる。

RFマグнетロンスパッタ装置に、特殊形状のターゲットをセットし、強磁性体（S45C）からなる直径20mmの軸の表面の2個所に、



なる組成を有する、幅10mm、厚さ15μmの非晶質合金薄膜からなる1対の磁性体を形成する。

第18図に示すように、第1図の装置に電磁石55を加えた装置を用いて、これらの磁性体に磁気異方性を導入する。電磁石55により磁性体12に直流磁界を印加し、軸11を回転させつつ長さ方向へ移動させながら、レーザ51から放射されるレーザビーム52を、ミラー53で反射させ、レンズ54で集束させて軸11の表面の磁性体12a、12bに照射する。

この場合、レーザビームのスポット径を50μmとし、5m/minの走査速度で連続的に照射する。レーザビームの走査方向は、軸11の周方向に対して、磁性体12aでは+45°、磁性体12bでは-45°の方向とし、前述した操作を1mmピッチで繰り返す。電磁石54による磁界の方向もこれと同一の方向とする。この結果、非晶質の主相13とは異なる磁気特性を有する、非晶質の境界相14が形成され、これらの境界相14がストライプ状に配列された構造となる。

第4図と同様なトルクセンサを作製し、トルクを検出した結果を第19図に示す。第19図から明らかのように、このトルクセンサの出力は、広いトルク範囲にわたって良好な直線性を示す。

磁性体を磁場中で局所加熱して磁気異方性を導入する、他の方法について説明する。

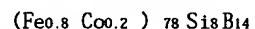
前述した第14図に示すように、磁性体12の近傍に電磁石55を設置し、磁性体12に所定の方向に沿って磁界を印加した状態で、レーザビームを走査させて、磁気異方性を導入してもよい。

また、第20図に示すように、第16図の装置に電磁石55を加えた装置を用いて、磁性体12に所定の方向に沿って磁界を印加した状態で、スリット126を通して赤外線を照射させて、磁性体に磁気異方性を導入してもよい。

実施例5

磁性体に応力を印加した状態で、局所加熱して磁気異方性を導入する方法について説明する。

急冷ロール法により、



なる組成を有する磁歪定数10⁻⁵程度の非晶質合金薄膜を作製する。

第21図に示す装置を用いて、薄帯状の磁性体に磁気異方性を導入する。第21図において、磁性体12は、XY方向

に移動可能ステージ131上に設けられた、供給ローラ132、磁性体固定用の二軸ローラ133、134及び巻取ローラ（図示せず）により移動可能に支持されている。一方の二軸ローラ134の支持部材には、荷重135が取り付けられ、二軸ローラ133、134間に固定された磁性体12に引張り応力が印加されるようになっている。磁性体12には、レーザ51からレーザビームが照射される。なお、ステージ131は回転できるようにしてもよい。

この場合、荷重135により磁性体12に 10kg/mm^2 の引張り応力を印加した状態で、レーザビームのスポット径を $50\mu\text{m}$ とし、ステージ131を移動させることにより、所定方向に 3m/min の走査速度で連続的に走査させる。この操作を 1mm ピッチで繰返す。この結果、局所加熱により導入された内部応力だけでなく、荷重による応力が加わり、磁性体12に応力誘起磁気異方性が導入される。

このようにして所定方向に磁気異方性が導入された薄帯状の磁性体を、軸に接着することにより、第4図と同様なトルクセンサを作製する。このトルクセンサにより、トルクを検出した結果を第22図に示す。第22図から明らかなように、このトルクセンサの出力は、広いトルク範囲にわたって良好な直線性を示す。

磁性体に応力を印加した状態で、局所加熱して磁気異方性を導入する、他の方法について説明する。

第23図に示すように、XY方向に移動可能なステージ131上に、固定治具136により、磁性体12の4辺を機械的に押さえ、磁性体12にレーザ51から固定治具136に設けられた開口137を通してレーザビームを照射するようにしてもよい。このような方法でも、レーザビームの照射領域が溶融凝固する際に、結果的に磁性体12に応力が印加され、応力誘起磁気異方性が導入される。

また、第14図、第16図、又は第17図の装置において、薄帯状の磁性体12を支持している2個のローラ（図示せず）のうち、巻取りローラーがやや速く回転するように設定して、磁性体に引張り応力が印加されるようにしてもよい。このとき、ローラはローラ軸方向にスライドできるようにすることが好ましい。

変形例として、第21図、第23図に示すように、電磁石55を設け、磁性体12に応力を印加するとともに、磁場を印加してもよい。このような方法では、局所加熱と磁場による誘導磁気異方性及び応力誘起磁気異方性が合成されて、複雑な磁気異方性を導入することもできる。なお、磁場の方向は、応力の方向に対して任意の角度をなすように設定できることが好ましい。

実施例6

磁性体の化合物が生成される雰囲気中で、磁性体を局所加熱して磁気異方性を導入する方法について説明する。

RFマグネットロンスパッタ装置に、特殊形状のターゲットをセットし、強磁性体（S45C）からなる直径 20mm の軸の表面の2個所に、

$\text{Fe}_{67}\text{Co}_{18}\text{Si}_{1}\text{B}_{14}$

なる組成を有する、磁歪定数 3.5×10^{-5} 程度の非晶質合金薄膜からなる1対の磁性体を形成する。

第24図に示すように、第1図の装置に酸素ガスを放出するノズル56を加えた装置を用いて、これらの磁性体に磁気異方性を導入する。ノズル56から純度95%の酸素ガスを吹き付け、軸11を回転させかつ長さ方向へ移動させながら、レーザ51から放射されるレーザビーム52を、ミラー53で反射させ、レンズ54で集束させて軸11の表面の磁性体12a、12bに照射する。この場合、レーザビームのスポット径を $100\mu\text{m}$ とし、 1m/min の走査速度で連続的に照射する。レーザビームの走査方向は、軸11の周方向に對して、磁性体12aでは $+45^\circ$ 、磁性体12bでは -45° の方向とし、前述した操作を 1mm ピッチで繰返す。この結果、レーザビームが照射された領域では、酸化物を含む境界相16が形成され、これらの境界相16がストライブ状に配列された構造となる。酸化物としては、溶融凝固した $\text{Fe}-\text{Co}-\text{Si}-\text{B}-\text{O}$ なる組成の非晶質相、 Fe_2O_3 、 Fe_3O_4 、 CoO などの微結晶からなる多結晶相が含まれる。そして、レーザビーム走査方向が磁化容易軸方向となり、軸11の周方向に對して、磁性体12aでは $+45^\circ$ の方向に一軸磁気異方性 $\blacktriangle K^{1\downarrow 0} \blacktriangledown$ が、磁性体12bでは -45° の方向に一軸磁気異方性 $\blacktriangle K^{2\downarrow 0} \blacktriangledown$ が導入される。

第4図と同じ構造のトルクセンサを作製し、トルクを検出した結果を第25図に示す。第25図から明らかなように、このトルクセンサの出力は、広いトルク範囲にわたって良好な直線性を示す。

他の雰囲気中で、磁性体を局所加熱して磁気異方性を導入する方法について説明する。

磁性体として前述した非晶質合金の代わりにめっきにより $\text{Fe}_{50}\text{Ni}_{50}$ を形成し、酸素ガスの代わりに純度95%の窒素ガスを用いる以外は、前記と同様にして、磁性体に磁気異方性を導入する。この場合、窒化物を含む境界相が形成される。窒化物としては、溶融凝固した $\text{Fe}-\text{Ni}-\text{N}$ なる組成の非晶質相、 FeN などの微結晶からなる多結晶相が含まれる。

以上説明したように、本発明の方法を用いれば、磁性体に充分な磁気異方性を容易かつ確実に導入することができる。この結果、例えば感度の高いトルクセンサを作製することができる。

なお、トルクセンサは、以上で説明したもの以外にも、以下のような構成を有するものが用いることができる。

第4図のトルクセンサでは励磁コイル14を用いたが、第26図に示すように励磁コイルを用いずに、第27図に示す回路構成でトルク検出を行ってもよい。第27図において、発振器21で発生された正弦波電流は増幅器22で増幅される。増幅器22の出力端には、検出コイル15aと抵抗 R_{117a} との直列回路及び検出コイル15bと抵抗 R_2 （ $R_2 = R_1$ ）17bとの直列回路からなるブリッジ回路が接続され

ている。また、発振器21で発生された正弦波電流は参照信号発生器27に入力され、ここで発生した信号が位相検波器28に出力される。そして、プリッジ回路の検出端には差動増幅器25が接続され、その出力が位相検波器28で検波されてトルクに応じた出力を得ることができる。

また、第28図に示すように検出コイル15a (15b) 及び励磁コイル16a (16b) が巻かれた磁気ヘッド18a (18b) を用い、第29図に示す回路構成でトルク検出を行ってもよい。第29図において、検出コイル15a、15bは差動接続されている。

また、本発明の方法により磁気異方性が導入された磁性体は、トルクセンサだけでなく、歪みセンサや電流センサなどにも応用することができる。

歪みセンサを第30図を参照して説明する。第30図において、コイル基板31の両面には、磁歪効果を有する磁性体12、12が、コイル基板31と絶縁された状態で設けられる。この磁性体12、12には、本発明の方法により、その長さ方向を磁化容易軸とする一軸磁気異方性が導入されている。コイル基板31は、可撓性を有する絶縁基板32の一方の面の上に、1対のコイル33a、33bを基板32の長さ方向に沿って設け、これらを端子34a、34b間に直列に接続したものである。すなわち、コイル33a、33bの内端どうしはスルーホールを通して基板32の裏面側に設けられた配線35により接続され、一方のコイル33aの外端は配線36aにより端子34aと接続され、他方のコイル33bの外端は配線36bにより端子34bと接続されている。この結果、コイル33a、33bには互いに逆方向の電流が流れ、コイル33a、33bは互いに逆向きの磁束を発生する。

端子34a、34b間に電流を流すと、コイル33a、33bで発生した磁束は、磁性体12、12の長さ方向に沿う磁路を通過する。磁性体12、12の長さ方向に引張り応力又は圧縮応力が作用すると、磁歪効果により誘導磁気異方性が発生し、その結果透磁率の変化が生じる。この透磁率の変化は、コイル33a、33bの合成インダクタンスの変化として現われるので、歪みの大きさを検出することができる。

電流センサを第31図を参照して説明する。第31図において、円柱状のコア41の表面には、本発明の方法により所定方向に一軸磁気異方性が導入された磁性体12が形成されている。この磁性体12の近傍には、測定される電流が流れるコイル42及び検出コイル43が巻かれている。

コイル42に電流が流れると、磁性体12の磁気特性が変化する。この変化に応じて、検出コイル43のインピーダンスが変化するので、コイル42に流れる電流の大きさを検出することができる。

更に、本発明の方法により磁気異方性が導入された磁性体は、各種センサだけでなく、磁気コアなどにも応用することができる。例えば、長尺の薄帯状磁性体の幅方向に線状の境界相を形成し、長さ方向にパターン化することにより、磁区を細分化できるので、ヒステリシスを

低減することができる。この磁性体を巻いてトロイダルコアを作製すると、低損失化が実現できる。この場合、磁性体が低磁歪又はゼロ磁歪を示す組成であれば、より低損失化することができ、高周波領域まで使用することができる。

【発明の効果】

以上詳述したように本発明の方法を用いれば、磁性体に充分な磁気異方性を容易かつ確実に導入することができる。

【図面の簡単な説明】

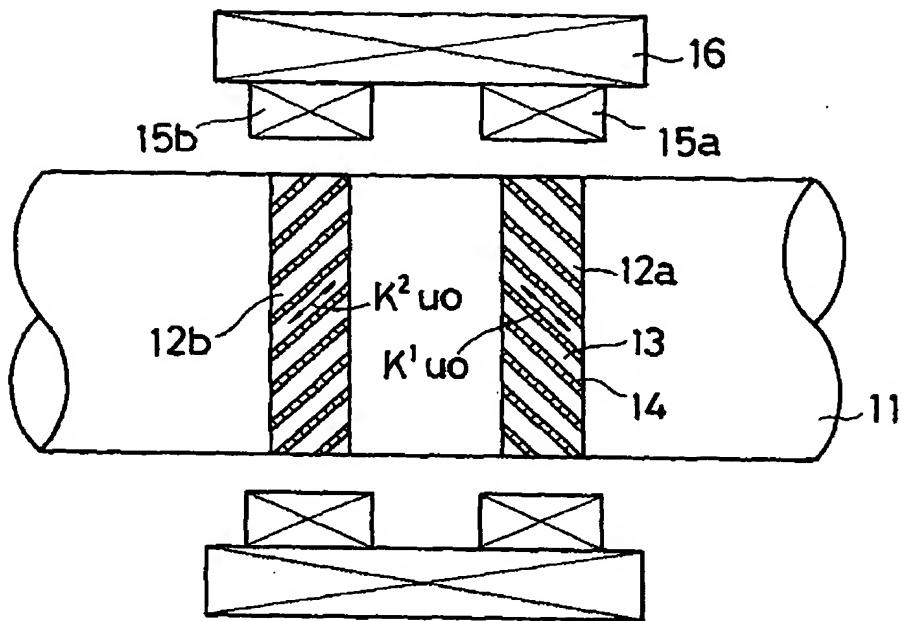
第1図は本発明の実施例1において磁性体に磁気異方性の導入するため用いられる装置を示す図、第2図は本発明の実施例1において磁気異方性が導入された磁性体の磁区のモデルを示す図、第3図は本発明の実施例において作製されるトルクセンサの原理を説明する図、第4図は本発明の実施例1において作製されたトルクセンサの構成を示す図、第5図は本発明の実施例1において作製されたトルクセンサの回路構成を示すブロック図、第6図は本発明の実施例1において作製されたトルクセンサのトルク検出特性を示す図、第7図は本発明の実施例1において作製されたトルクセンサについて、レーザビームの走査速度と感度との関係を示す図、第8図は本発明の実施例1において他の磁性体を用いて作製されたトルクセンサのトルク検出特性を示す図、第9図は本発明の実施例1において他の磁性体を用いて作製されたトルクセンサについて、レーザビームの走査速度と感度との関係を示す図、第10図は本発明の実施例1において更に他の磁性体を用いて作製されたトルクセンサのトルク検出特性を示す図、第11図は本発明の実施例1において更に他の磁性体を用いて作製されたトルクセンサについて、境界相の割合と感度との関係を示す図、第12図は本発明の実施例1において軸を構成する磁性体に磁気異方性を導入することにより作製されたトルクセンサの構成を示す図、第13図は本発明の実施例1において軸を構成する磁性体に磁気異方性を導入することにより作製されたトルクセンサのトルク検出特性を示す図、第14図は本発明の実施例2において磁性体に磁気異方性の導入するため用いられる装置を示す図、第15図は本発明の実施例2において磁気異方性が導入された磁性体の金属組織を示す写真、第16図は本発明の実施例3において磁性体に磁気異方性の導入するため用いられる装置を示す図、第17図は本発明の実施例3において磁性体に磁気異方性の導入するため用いられる他の装置を示す図、第18図は本発明の実施例4において磁性体に磁気異方性の導入するため用いられる装置を示す図、第19図は本発明の実施例4において作製されたトルクセンサのトルク検出特性を示す図、第20図は本発明の実施例4において磁性体に磁気異方性の導入するため用いられる他の装置を示す図、第21図は本発明の実施例5において磁性体に磁気異方性の導入するため用いられる装置を示す図。

図、第22図は本発明の実施例5において作製されたトルクセンサのトルク検出特性を示す図、第23図は本発明の実施例5において磁性体に磁気異方性の導入するために用いられる他の装置を示す図、第24図は本発明の実施例6において磁性体に磁気異方性の導入するために用いられる装置を示す図、第25図は本発明の実施例6において作製されたトルクセンサのトルク検出特性を示す図、第26図は他のトルクセンサの構成を示す図、第27図は他のトルクセンサの回路構成を示すブロック図、第28図は更に他のトルクセンサの構成を示す図、第29図は更に他のトルクセンサの回路構成を示すブロック図、第30図は歪みセンサの構成を示す図、第31図は電流センサの構成を示す図である。

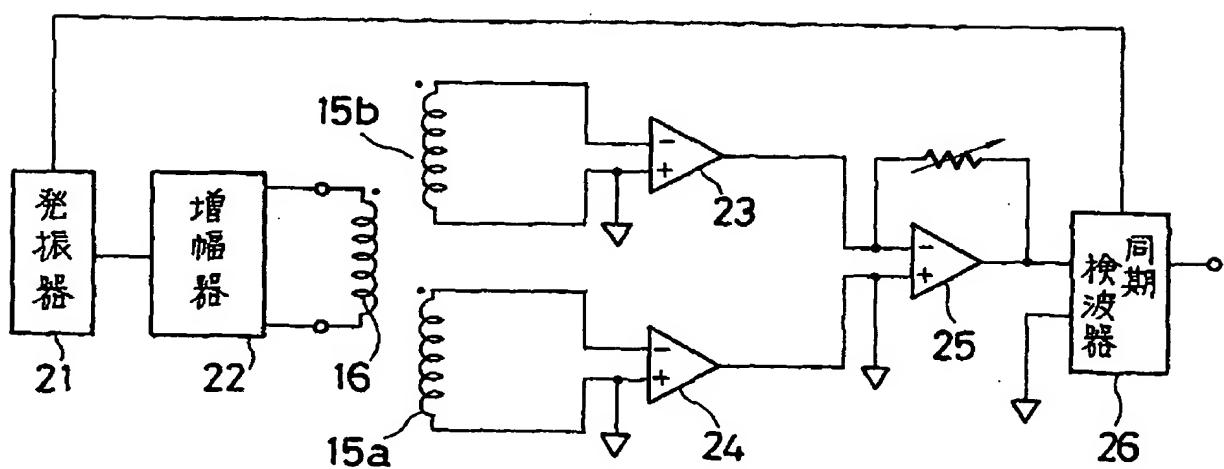
12……磁性体、13……主相、14……境界相、51……レーベ振器、52……レーザビーム、53……ミラー、54……レンズ、55……電磁石、56……ノズル、101……テープル、102……ガイドベース、103……支柱、104……ボルネジ、105……ガイドレール、106光学系、107……ミラー、108……レンズ、109……センサ、110……移動検出器、111……サーボモータ、112……サーボモータコントローラ、113……YAGレーザ、114……レーザビーム、115……ガス供給系、116……コントローラ、117……操作盤、121……電源、122……赤外ランプ、123……集光ミラー、124……赤外線、125……スリット板、126……スリット、127……シャッター、128……スリット、131……ステージ、132……供給ローラ、133、134……二軸ローラ、135……荷重、136……固定治具、137……開口。

10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100
101
102
103
104
105
106
107
108
109
110
111
112
113
114
115
116
117
118
119
120
121
122
123
124
125
126
127
128
129
130
131
132
133
134
135
136
137
138
139
140
141
142
143
144
145
146
147
148
149
150
151
152
153
154
155
156
157
158
159
160
161
162
163
164
165
166
167
168
169
170
171
172
173
174
175
176
177
178
179
180
181
182
183
184
185
186
187
188
189
190
191
192
193
194
195
196
197
198
199
200
201
202
203
204
205
206
207
208
209
210
211
212
213
214
215
216
217
218
219
220
221
222
223
224
225
226
227
228
229
230
231
232
233
234
235
236
237
238
239
240
241
242
243
244
245
246
247
248
249
250
251
252
253
254
255
256
257
258
259
259
260
261
262
263
264
265
266
267
268
269
270
271
272
273
274
275
276
277
278
279
280
281
282
283
284
285
286
287
288
289
290
291
292
293
294
295
296
297
298
299
300
301
302
303
304
305
306
307
308
309
310
311
312
313
314
315
316
317
318
319
320
321
322
323
324
325
326
327
328
329
330
331
332
333
334
335
336
337
338
339
339
340
341
342
343
344
345
346
347
348
349
349
350
351
352
353
354
355
356
357
358
359
359
360
361
362
363
364
365
366
367
368
369
369
370
371
372
373
374
375
376
377
378
379
379
380
381
382
383
384
385
386
387
388
389
389
390
391
392
393
394
395
396
397
398
399
399
400
401
402
403
404
405
406
407
408
409
409
410
411
412
413
414
415
416
417
418
419
419
420
421
422
423
424
425
426
427
428
429
429
430
431
432
433
434
435
436
437
438
439
439
440
441
442
443
444
445
446
447
448
449
449
450
451
452
453
454
455
456
457
458
459
459
460
461
462
463
464
465
466
467
468
469
469
470
471
472
473
474
475
476
477
478
479
479
480
481
482
483
484
485
486
487
488
489
489
490
491
492
493
494
495
496
497
498
499
499
500
501
502
503
504
505
506
507
508
509
509
510
511
512
513
514
515
516
517
518
519
519
520
521
522
523
524
525
526
527
528
529
529
530
531
532
533
534
535
536
537
538
539
539
540
541
542
543
544
545
546
547
548
549
549
550
551
552
553
554
555
556
557
558
559
559
560
561
562
563
564
565
566
567
568
569
569
570
571
572
573
574
575
576
577
578
579
579
580
581
582
583
584
585
586
587
588
589
589
590
591
592
593
594
595
596
597
598
599
599
600
601
602
603
604
605
606
607
608
609
609
610
611
612
613
614
615
616
617
618
619
619
620
621
622
623
624
625
626
627
628
629
629
630
631
632
633
634
635
636
637
638
639
639
640
641
642
643
644
645
646
647
648
649
649
650
651
652
653
654
655
656
657
658
659
659
660
661
662
663
664
665
666
667
668
669
669
670
671
672
673
674
675
676
677
678
679
679
680
681
682
683
684
685
686
687
688
689
689
690
691
692
693
694
695
696
697
698
699
699
700
701
702
703
704
705
706
707
708
709
709
710
711
712
713
714
715
716
717
718
719
719
720
721
722
723
724
725
726
727
728
729
729
730
731
732
733
734
735
736
737
738
739
739
740
741
742
743
744
745
746
747
748
749
749
750
751
752
753
754
755
756
757
758
759
759
760
761
762
763
764
765
766
767
768
769
769
770
771
772
773
774
775
776
777
778
779
779
780
781
782
783
784
785
786
787
788
789
789
790
791
792
793
794
795
796
797
798
799
799
800
801
802
803
804
805
806
807
808
809
809
810
811
812
813
814
815
816
817
818
819
819
820
821
822
823
824
825
826
827
828
829
829
830
831
832
833
834
835
836
837
838
839
839
840
841
842
843
844
845
846
847
848
849
849
850
851
852
853
854
855
856
857
858
859
859
860
861
862
863
864
865
866
867
868
869
869
870
871
872
873
874
875
876
877
878
879
879
880
881
882
883
884
885
886
887
888
889
889
890
891
892
893
894
895
896
897
898
899
899
900
901
902
903
904
905
906
907
908
909
909
910
911
912
913
914
915
916
917
918
919
919
920
921
922
923
924
925
926
927
928
929
929
930
931
932
933
934
935
936
937
938
939
939
940
941
942
943
944
945
946
947
948
949
949
950
951
952
953
954
955
956
957
958
959
959
960
961
962
963
964
965
966
967
968
969
969
970
971
972
973
974
975
976
977
978
979
979
980
981
982
983
984
985
986
987
988
989
989
990
991
992
993
994
995
996
997
998
999
1000
1001
1002
1003
1004
1005
1006
1007
1008
1009
1009
1010
1011
1012
1013
1014
1015
1016
1017
1018
1019
1019
1020
1021
1022
1023
1024
1025
1026
1027
1028
1029
1029
1030
1031
1032
1033
1034
1035
1036
1037
1038
1039
1039
1040
1041
1042
1043
1044
1045
1046
1047
1048
1049
1049
1050
1051
1052
1053
1054
1055
1056
1057
1058
1059
1059
1060
1061
1062
1063
1064
1065
1066
1067
1068
1069
1069
1070
1071
1072
1073
1074
1075
1076
1077
1078
1079
1079
1080
1081
1082
1083
1084
1085
1086
1087
1088
1089
1089
1090
1091
1092
1093
1094
1095
1096
1097
1098
1099
1099
1100
1101
1102
1103
1104
1105
1106
1107
1108
1109
1109
1110
1111
1112
1113
1114
1115
1116
1117
1118
1119
1119
1120
1121
1122
1123
1124
1125
1126
1127
1128
1129
1129
1130
1131
1132
1133
1134
1135
1136
1137
1138
1139
1139
1140
1141
1142
1143
1144
1145
1146
1147
1148
1149
1149
1150
1151
1152
1153
1154
1155
1156
1157
1158
1159
1159
1160
1161
1162
1163
1164
1165
1166
1167
1168
1169
1169
1170
1171
1172
1173
1174
1175
1176
1177
1178
1179
1179
1180
1181
1182
1183
1184
1185
1186
1187
1188
1189
1189
1190
1191
1192
1193
1194
1195
1196
1197
1198
1199
1199
1200
1201
1202
1203
1204
1205
1206
1207
1208
1209
1209
1210
1211
1212
1213
1214
1215
1216
1217
1218
1219
1219
1220
1221
1222
1223
1224
1225
1226
1227
1228
1229
1229
1230
1231
1232
1233
1234
1235
1236
1237
1238
1239
1239
1240
1241
1242
1243
1244
1245
1246
1247
1248
1249
1249
1250
1251
1252
1253
1254
1255
1256
1257
1258
1259
1259
1260
1261
1262
1263
1264
1265
1266
1267
1268
1269
1269
1270
1271
1272
1273
1274
1275
1276
1277
1278
1279
1279
1280
1281
1282
1283
1284
1285
1286
1287
1288
1289
1289
1290
1291
1292
1293
1294
1295
1296
1297
1298
1299
1299
1300
1301
1302
1303
1304
1305
1306
1307
1308
1309
1309
1310
1311
1312
1313
1314
1315
1316
1317
1318
1319
1319
1320
1321
1322
1323
1324
1325
1326
1327
1328
1329
1329
1330
1331
1332
1333
1334
1335
1336
1337
1338
1339
1339
1340
1341
1342
1343
1344
1345
1346
1347
1348
1349
1349
1350
1351
1352
1353
1354
1355
1356
1357
1358
1359
1359
1360
1361
1362
1363
1364
1365
1366
1367
1368
1369
1369
1370
1371
1372
1373
1374
1375
1376
1377
1378
1379
1379
1380
1381
1382
1383
1384
1385
1386
1387
1388
1389
1389
1390
1391
1392
1393
1394
1395
1396
1397
1398
1399
1399
1400
1401
1402
1403
1404
1405
1406
1407
1408
1409
1409
1410
1411
1412
1413
1414
1415
1416
1417
1418
1419
1419
1420
1421
1422
1423
1424
1425
1426
1427
1428
1429
1429
1430
1431
1432
1433
1434
1435
1436
1437
1438
1439
1439
1440
1441
1442
1443
1444
1445
1446
1447
1448
1449
1449
1450
1451
1452
1453
1454
1455
1456
1457
1458
1459
1459
1460
1461
1462
1463
1464
1465
1466
1467
1468
1469
1469
1470
1471
1472
1473
1474
1475
1476
1477
1478
1479
1479
1480
1481
1482
1483
1484
1485
1486
1487
1488
1489
1489
1490
1491
1492
1493
1494
1495
1496
1497
1498
1499
1499
1500
1501
1502
1503
1504
1505
1506
1507
1508
1509
1509
1510
1511
1512
1513
1514
1515
1516
1517
1518
1519
1519
1520
1521
1522
1523
1524
1525
1526
1527
1528
1529
1529
1530
1531
1532
1533
1534
1535
1536
1537
1538
1539
1539
1540
1541
1542
1543
1544
1545
1546
1547
1548
1549
1549
1550
1551
1552
1553
1554
1555
1556
1557
1558
1559
1559
1560
1561
1562
1563
1564
1565
1566
1567
1568
1569
1569
1570
1571
1572
1573
1574
1575
1576
1577
1578
1579
1579
1580
1581
1582
1583
1584
1585
1586
1587
1588
1589
1589
1590
1591
1592
1593
1594
1595
1596
1597
1598
1599
1599
1600
1601
1602
1603
1604
1605
1606
1607
1608
1609
1609
1610
1611
1612
1613
1614
1615
1616
1617
1618
1619
1619
1620
1621
1622
1623
1624
1625
1626
1627
1628
1629
1629
1630
1631
1632
1633
1634
1635
1636
1637
1638
1639
1639
1640
1641
1642
1643
1644
1645
1646
1647
1648
1649
1649
1650
1651
1652
1653
1654
1655
1656
1657
1658
1659
1659
1660
1661
1662
1663
1664
1665
1666
1667
1668
1669
1669
1670
1671
1672
1673
1674
1675
1676
1677
1678
1679
1679
1680
1681
1682
1683
1684
1685
1686
1687
1688
1689
1689
1690
1691
1692
1693
1694
1695
1696
1697
1698
1699
1699
1700
1701
1702
1703
1704
1705
1706
1707
1708
1709
1709
1710
1711
1712
1713
1714
1715
1716
1717
1718
1719
1719
1720
1721
1722
1723
1724
1725
1726
1727
1728
1729
1729
1730
1731
1732
1733
1734
1735
1736
1737
1738
1739
1739
1740
1741
1742
1743
1744
1745
1746
1747
1748
1749
1749
1750
1751
1752
1753
1754
1755
1756
1757
1758
1759
1759
1760
1761
1762
1763
1764
1765
1766
1767
1768
1769
1769
1770
1771
1772
1773
1774
1775
1776
1777
1778
1779
1779
1780
1781
1782
1783
1784
1785
1786
1787
1788
1789
1789
1790
1791
1792
1793
1794
1795
1796
1797
1798
1799
1799
1800
1801
1802
1803
1804
1805
1806
1807
1808
1809
1809
1810
18

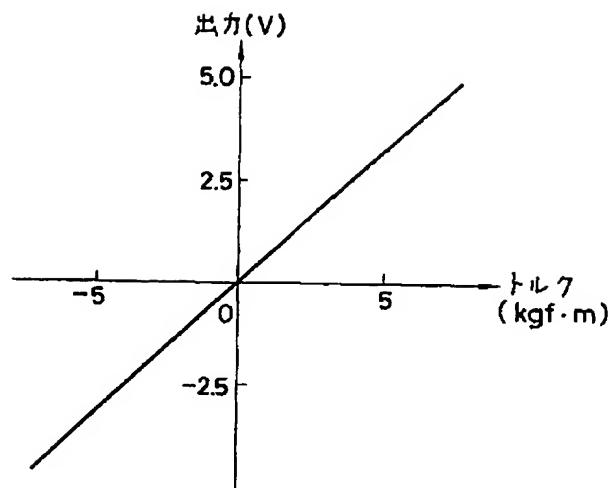
【第4図】



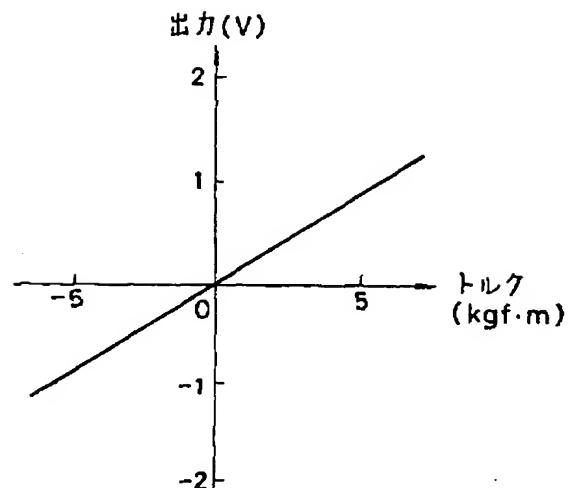
【第5図】



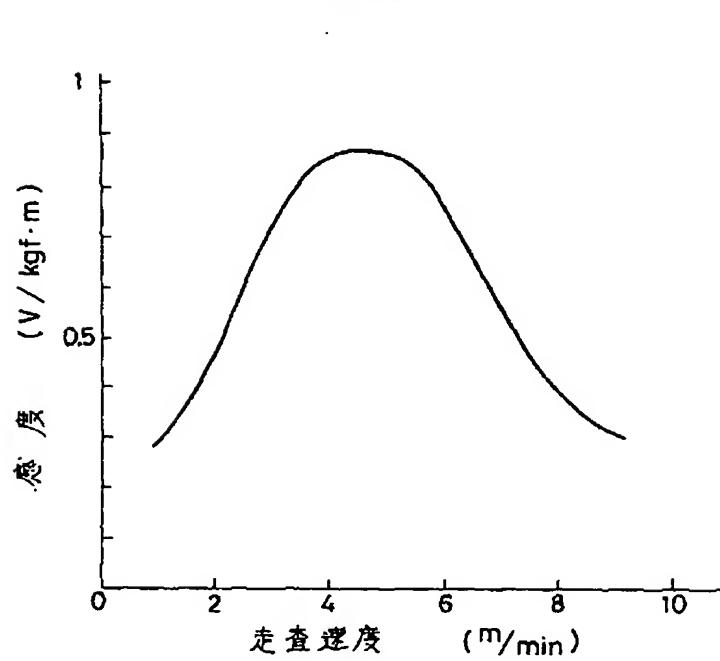
【第6図】



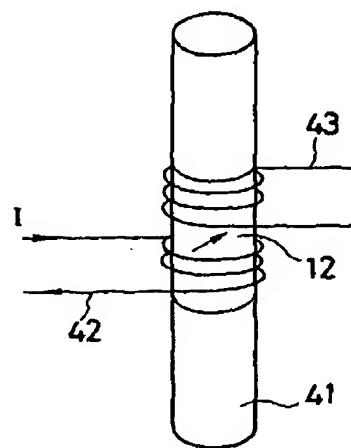
【第13図】



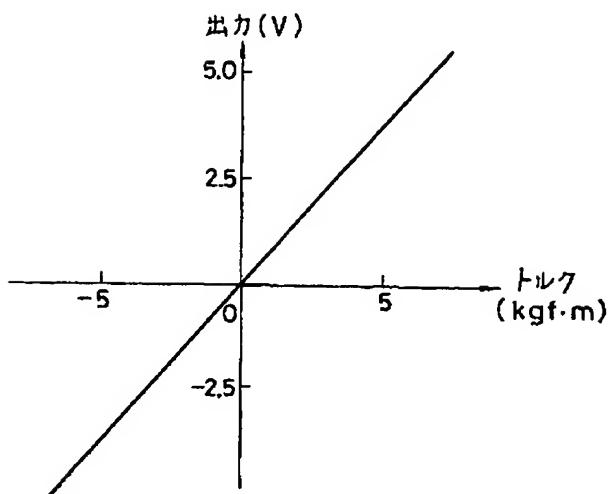
【第7図】



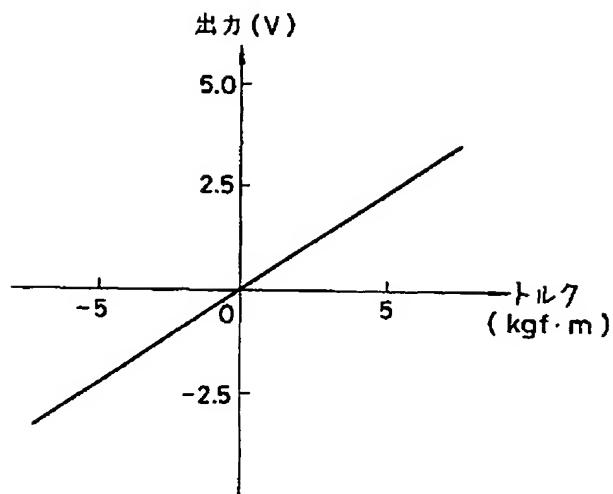
【第31図】



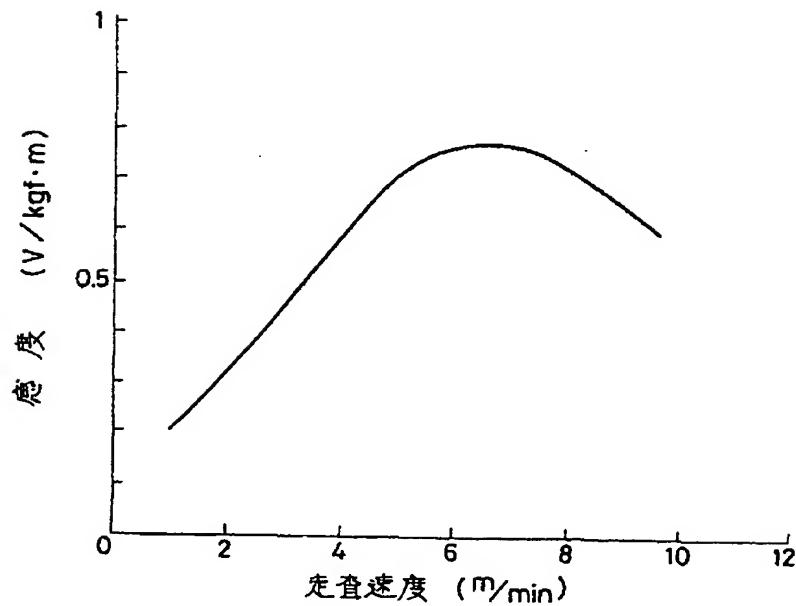
【第8図】



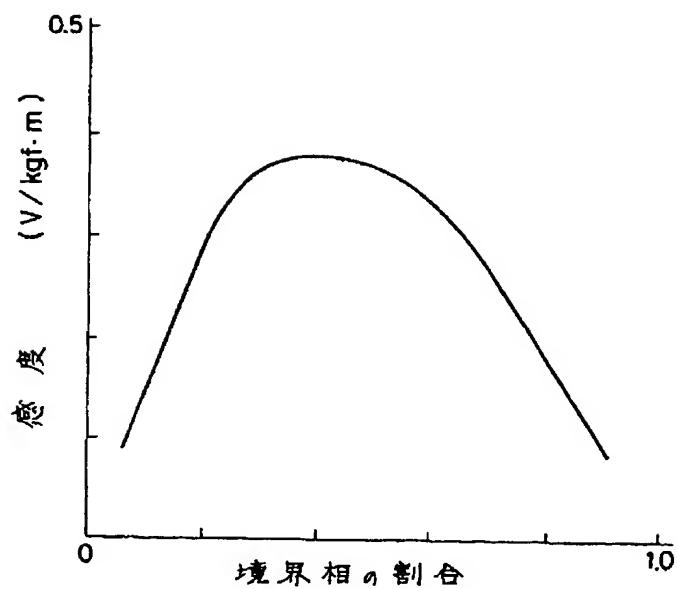
【第10図】



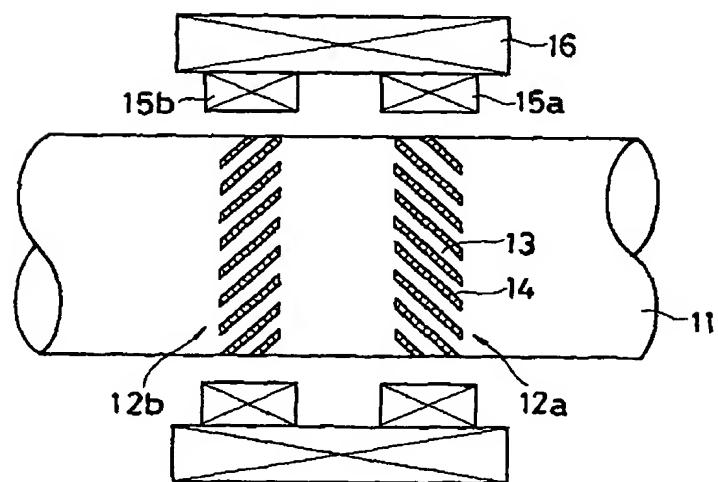
【第9図】



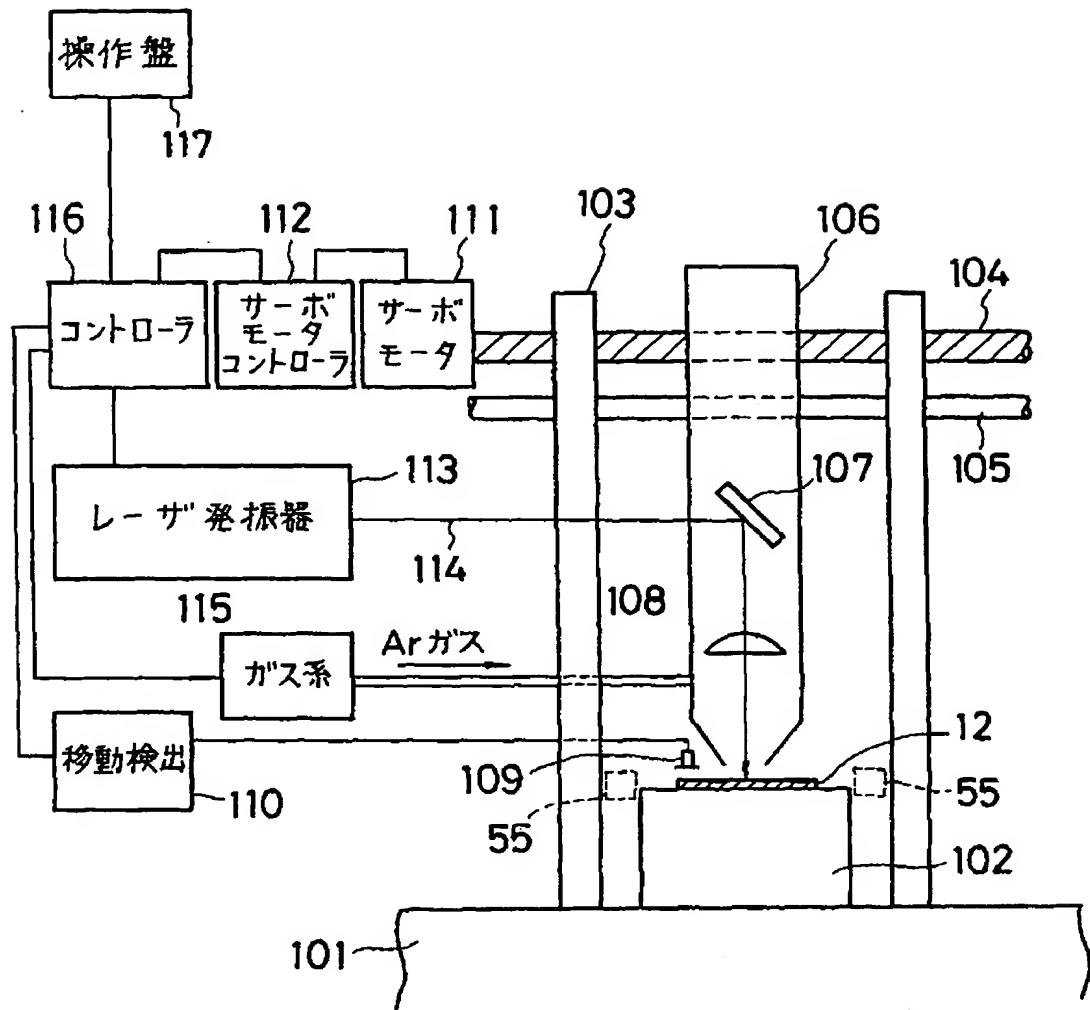
【第11図】



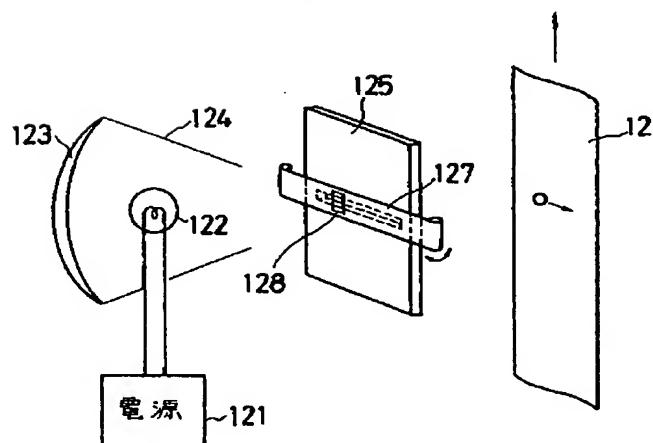
【第12図】



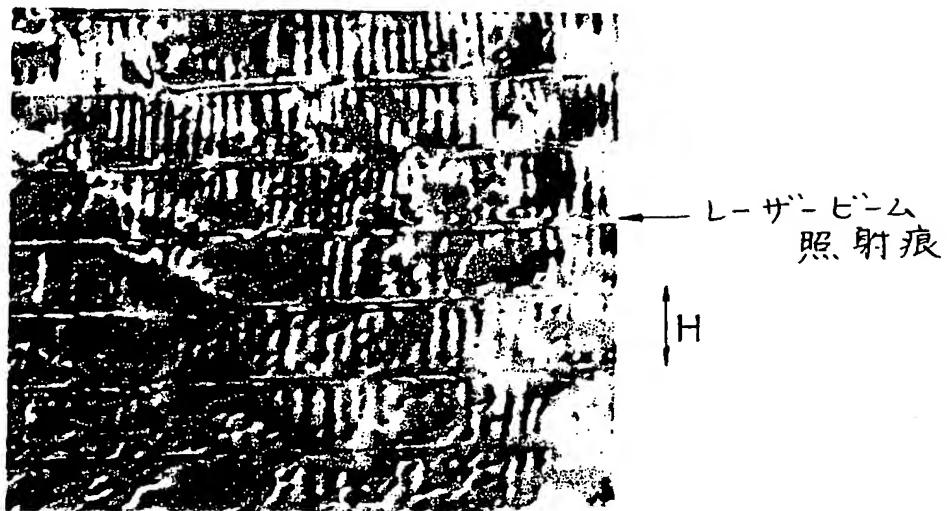
【第14図】



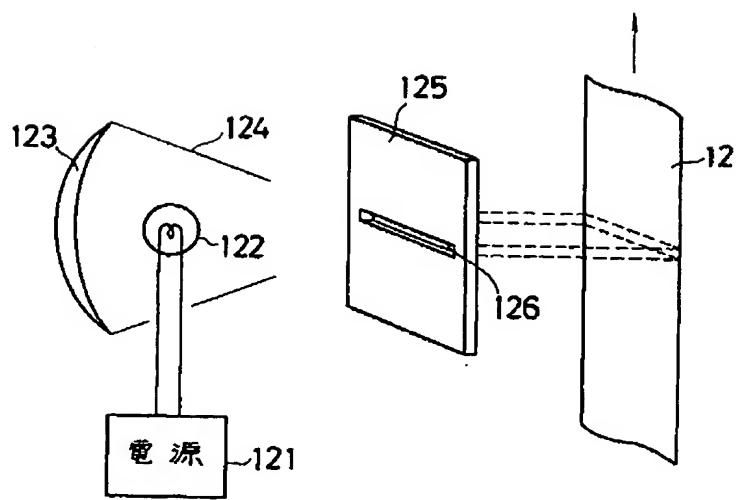
【第17図】



【第15図】

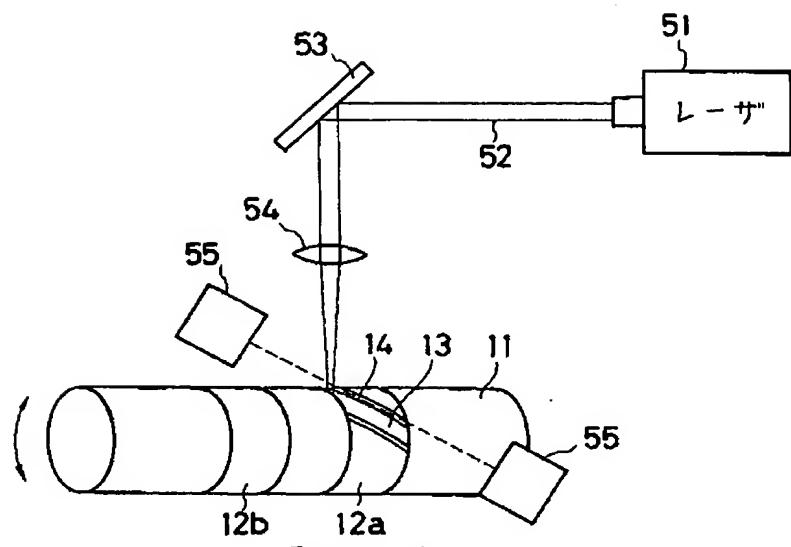


【第16図】

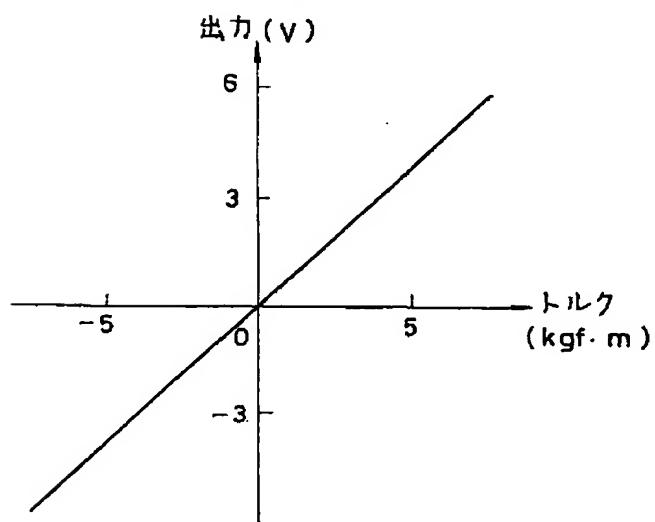


BEST AVAILABLE COPY

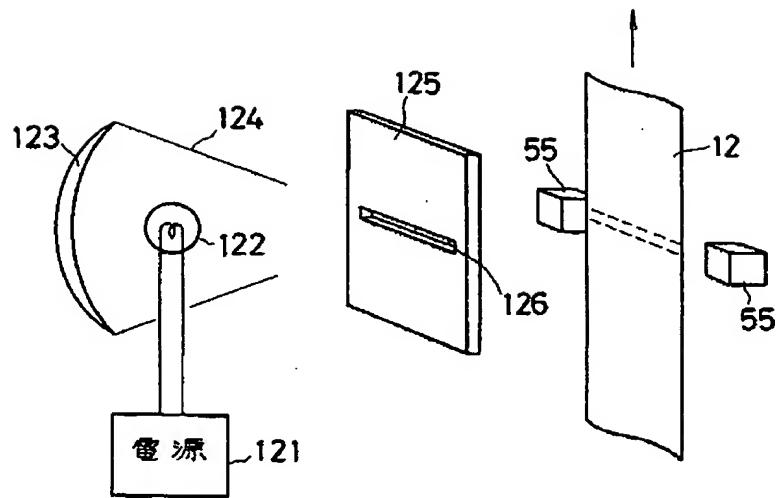
【第18図】



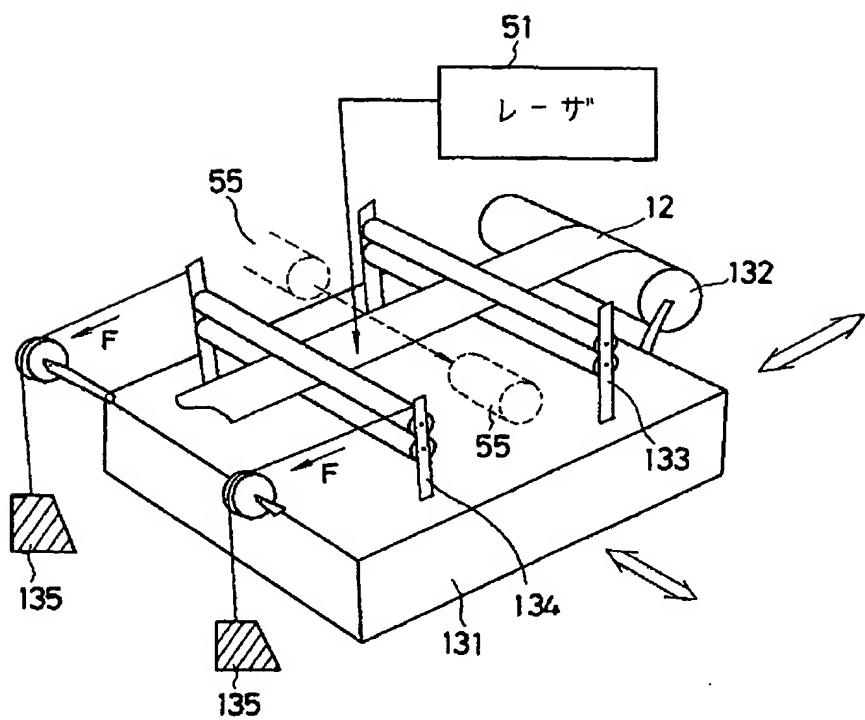
【第19図】



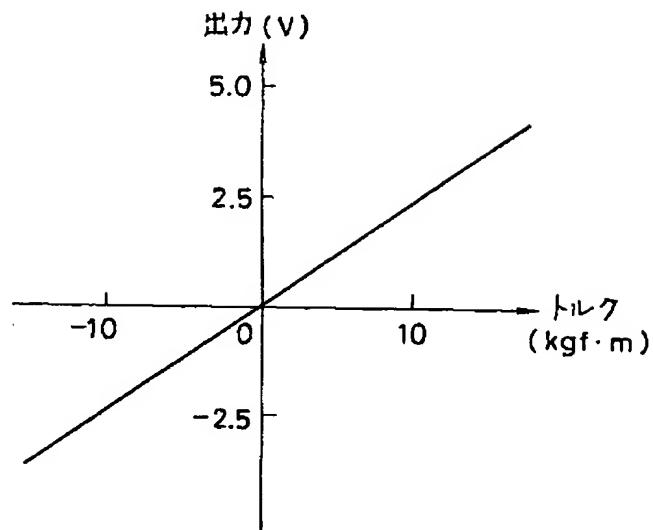
【第20図】



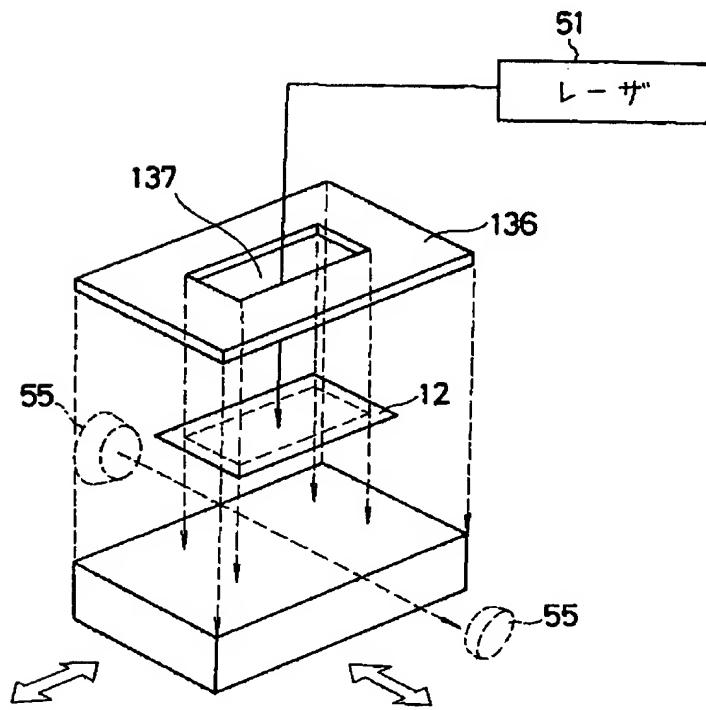
【第21図】



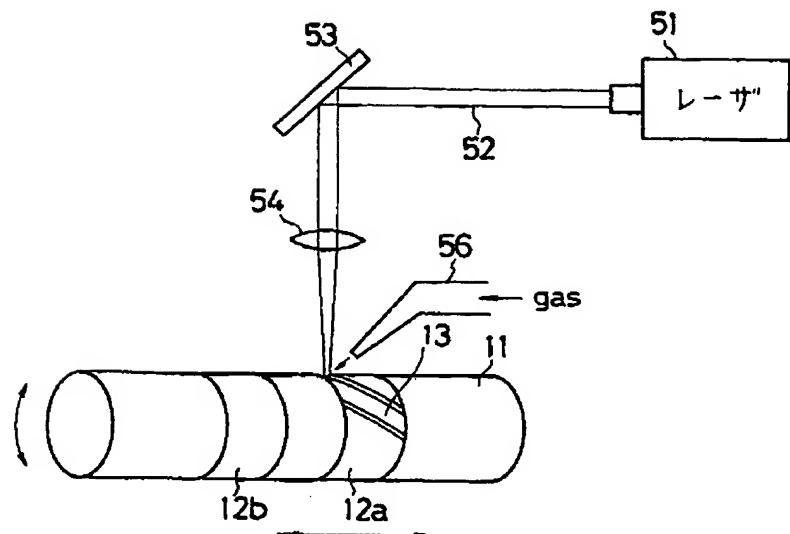
【第22図】



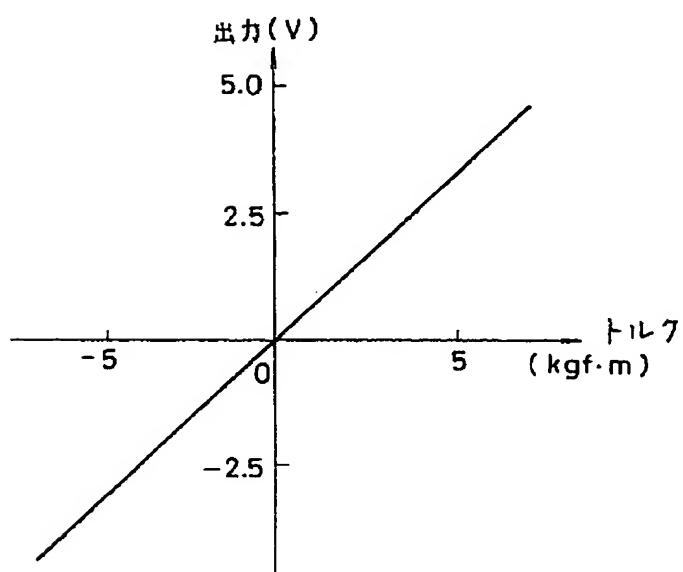
【第23図】



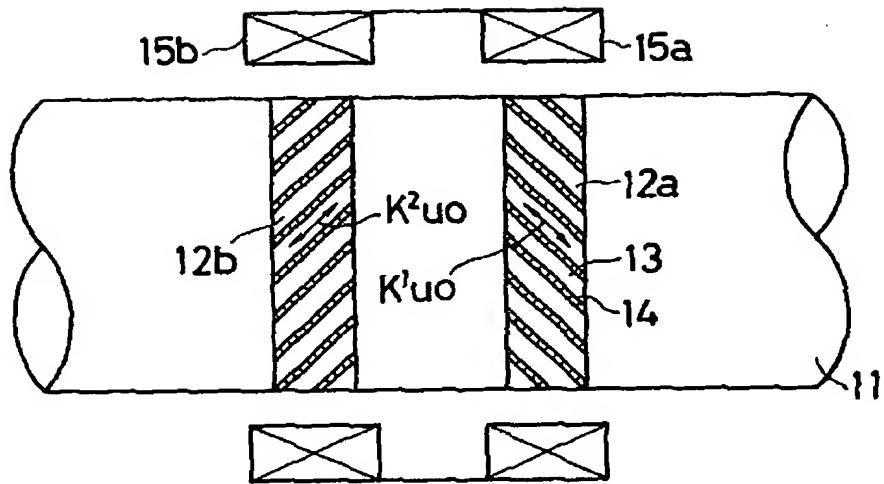
【第24図】



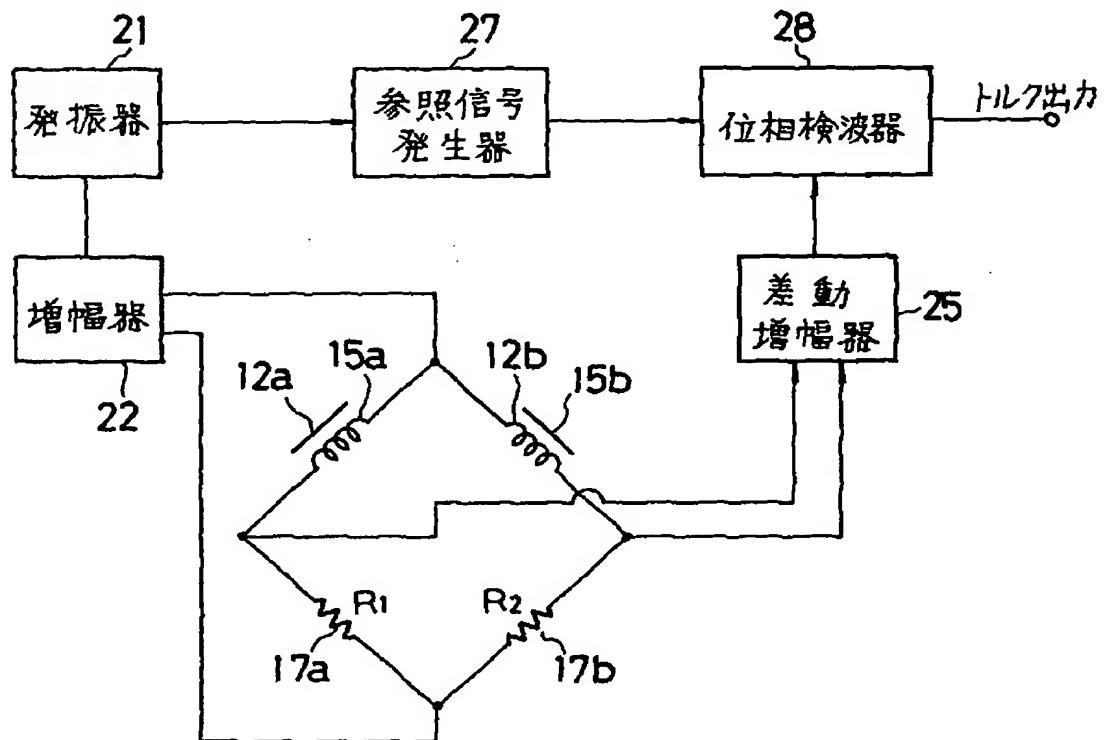
【第25図】



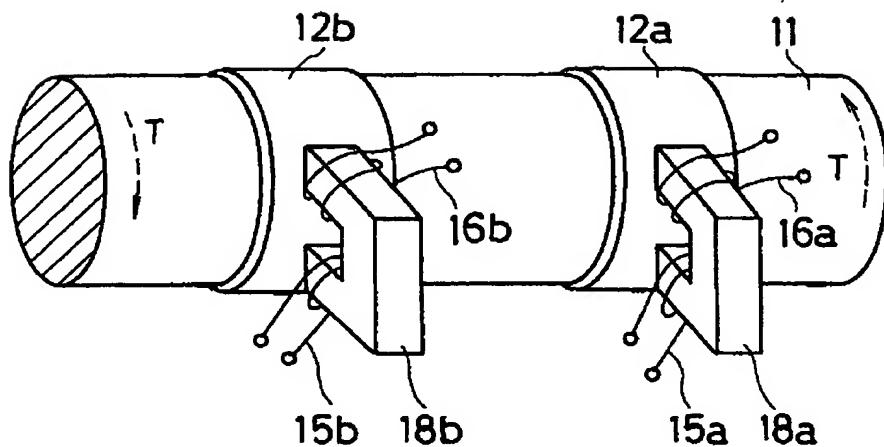
【第26図】



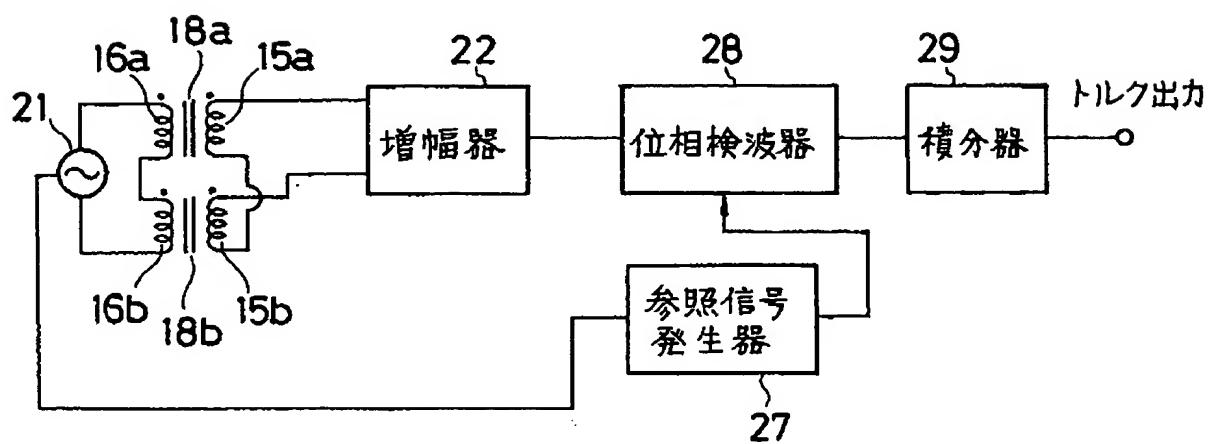
【第27図】



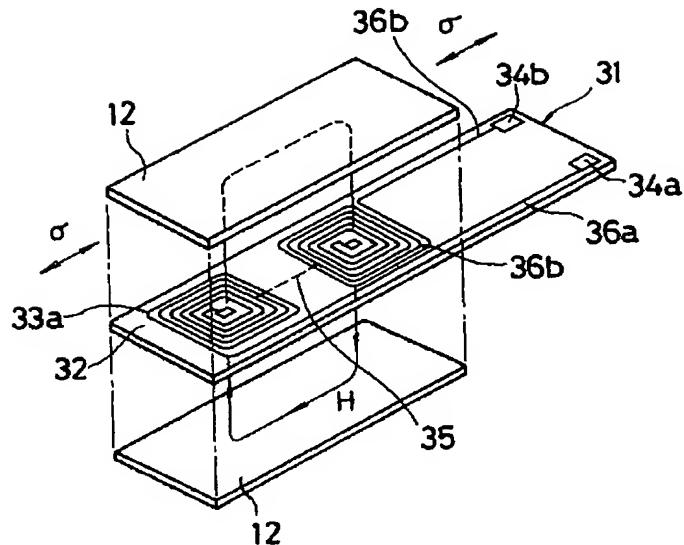
【第28図】



【第29図】



【第30図】



フロントページの続き

(31) 優先権主張番号 特願平1-297733
 (32) 優先日 平1(1989)11月17日
 (33) 優先権主張国 日本 (JP)
 (31) 優先権主張番号 特願平1-298941
 (32) 優先日 平1(1989)11月17日
 (33) 優先権主張国 日本 (JP)
 (31) 優先権主張番号 特願平2-38263
 (32) 優先日 平2(1990)2月21日
 (33) 優先権主張国 日本 (JP)

(31) 優先権主張番号 特願平2-84656
 (32) 優先日 平2(1990)3月30日
 (33) 優先権主張国 日本 (JP)
 (56) 参考文献 特開 平1-117378 (JP, A)
 特開 昭59-61732 (JP, A)
 特開 昭61-173128 (JP, A)
 (58) 調査した分野(Int.C1.6, DB名)
 H01L 41/00 - 41/26